

RACIONALIZACIÓN DE LAS APLICACIONES DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS PARA EL CONTROL DEL PIOJO ROJO DE CALIFORNIA EN CÍTRICOS

IVIA - Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias
Carretera de Moncada a Náquera Km 5
46113 Moncada (Valencia)
email: molto_enr@gva.es

INTRODUCCIÓN

El uso de insecticidas es necesario para conseguir un control adecuado de algunas plagas agrícolas. Sin embargo, este uso genera riesgos para las personas y el medio ambiente. Por ello, existe una elevada presión social que promueve el desarrollo de acciones para disminuir el impacto de los productos fitosanitarios sobre el medioambiente. La Directiva europea 2009/128/CE (DOUE, 2009) obliga a todos los productores europeos a seguir los principios generales de la Gestión Integrada de Plagas (GIP) desde el 1 de enero de 2014. Según esta Directiva, la utilización de productos fitosanitarios debe limitarse al mínimo necesario, por lo que el objetivo de los tratamientos fitosanitarios debe ser depositar la cantidad suficiente de producto fitosanitario en la parte adecuada de la planta y reducir la contaminación del medioambiente. Sin embargo, en la práctica se tienden a realizar aplicaciones que persiguen cubrir al máximo la vegetación, utilizando grandes volúmenes de caldo y, por tanto, de producto. Esta práctica genera excesos innecesarios que producen impactos en la salud de los operarios, en el medio ambiente e incrementan el coste de producción.

El piojo rojo de California (*Aonidiella aurantii* Maskell) produce grandes pérdidas económicas en la citricultura mundial y particularmente en la de la Comunidad Valenciana, donde se detectó con carácter de plaga en 1985 en Alzira (Valencia). Actualmente la plaga está extendida por

Resumen

El piojo rojo de California (*Aonidiella aurantii* Maskell) es una plaga que ocasiona grandes pérdidas económicas en la citricultura de la Comunidad Valenciana y habitualmente se controla con productos fitosanitarios como aceites minerales o con organofosforados. Debido a la falta de conocimiento científico suficiente, en el campo se tienden a realizar aplicaciones que persiguen cubrir al máximo la cobertura vegetal, utilizando grandes volúmenes de caldo, lo que incrementa los fenómenos de deriva y, por tanto, los riesgos para las personas y el medio ambiente. Este trabajo presenta los ensayos realizados en el IVIA para reducir estos volúmenes. Para ello, se estudian las relaciones entre la cantidad de materia activa que se deposita, la forma en que se deposita y cómo esto afecta al control de la plaga. De este modo se han deducido los depósitos mínimos de materia activa que se necesitan sobre el material vegetal para obtener un óptimo de control. A partir de esta información es posible ajustar racionalmente la cantidad de producto que debe aplicarse en un tratamiento en función del tamaño y la densidad foliar de los árboles a los que se dirige. Gracias a este trabajo se puede llegar a reducir en un 40% el consumo de productos fitosanitarios sin merma de eficacia.

Palabras clave: insecticidas, organofosforados, aceites minerales, modelos, deposición, densidad foliar.

todas las zonas de cultivo de cítricos peninsulares. Causa daños por la succión de la savia de cualquier órgano de la planta y, en casos extremos, puede llegar a provocar la muerte del árbol. Sin embargo, dada su preferencia por el fruto, los métodos de control se dirigen a evitar la presencia del escudo de la cochinilla sobre el mismo, ya que ésta provoca su depreciación inmediata debido al aspecto que le confiere (Figura 1, pag. 34).

Las materias activas recomendadas para el control del piojo rojo de California en nuestro país son los organofosforados clorpirifos y metil clorpirifos, el regulador del crecimiento piriproxifen, el ácido tetrámico spirotetramat y los aceites minerales (IVIA, 2010).

En este contexto, se requiere la adopción de métodos de decisión fiables, basados en conocimiento científico, con el fin de ajustar la cantidad de producto aplicado a las necesidades reales del problema que se pretende resolver. Dicho ajuste depende de las condiciones particulares de la aplicación, es decir, de factores

como las condiciones atmosféricas, la plaga que se pretende controlar, la maquinaria que se emplea, los productos utilizados y la vegetación sobre la que se aplica.

Para ajustar racionalmente la cantidad de producto que debe aplicarse en un tratamiento, es necesario estudiar las relaciones que existen entre la cantidad de materia activa que se deposita, la forma en que se deposita y cómo todo ello afecta al control de la plaga. Además, deben evaluarse las posibles diferencias de sensibilidad entre los distintos estados de desarrollo del insecto. Por estos motivos, el proyecto "Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de la dosis de aplicación en tratamientos mecanizados", cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, intenta proporcionar evidencias científicas para un uso adecuado de los insecticidas. En el presente artículo se describe el trabajo realizado en el Centro de Agroingeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) en este asunto, enfocado en el caso del piojo rojo de California.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los ensayos

En este estudio se ha trabajado con los dos tipos de productos más comúnmente utilizados contra piojo rojo de California en la Comunidad Valenciana: los basados en compuestos organofosforados y los basados en aceites minerales. Por ello se utilizó un producto a base de clorpirifos (que denominaremos Producto CL), un producto con metil-clorpirifos (Producto MCL) y dos aceites minerales (Aceites A y B). Todos los productos se aplicaron a la máxima concentración registrada contra el piojo rojo de California en cítricos (MAGRAMA, 2014).

En primer lugar, en condiciones de laboratorio, se definieron modelos matemáticos que relacionan el depósito generado de los diferentes productos con la mortalidad de la plaga, lo que denominaremos modelos de respuesta. Para ello se aplicaron una serie de volúmenes de caldo que generaron una serie de depósitos. Las aplicaciones se realizaron paralelamente sobre dos tipos de objetivos:

1) individuos de piojo rojo de California en diferentes estadios, procedentes de una cría de la plaga mantenida en condiciones controladas, sobre los que se determina la mortalidad tras el tratamiento (Figura 2, pag. 34)

2) colectores artificiales que simulaban el comportamiento de retención de gotas de las hojas de los cítricos, basados en láminas de PVC (Mercader *et al.*, 1995), para describir las características de la deposición

Las aplicaciones se realizaron con una torre de pulverización de laboratorio (Potter, 1952) (Figura 3, pag. 34). La torre se calibró antes de cada experiencia y se determinó el volumen de caldo depositado por unidad de superficie ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$) con cada volumen de caldo que se pulverizaba.

En una segunda fase se experimentó en condiciones de campo. Los ensayos se realizaron en cuatro parcelas localizadas en distintas zonas cítricas de la provincia de Valencia (Tabla 1), durante las campañas 2006, 2007 y 2008.

El objetivo de los ensayos fue conocer si existían diferencias estadísticamente significativas en la eficacia en el control del piojo rojo de California entre unos tratamientos, propuestos a partir del modelo de respuesta y de la vegetación, y los tratamientos convencionales que se realizan actualmente, basados en la aplicación de volúmenes cercanos al punto de goteo.

Para proponer los tratamientos que tuvieron en cuenta los modelos de respuesta y las características de la vegetación objetivo, se siguieron los siguientes pasos, resumidos en el esquema que se muestra en la Figura 4.

1. Se determinó la deposición mínima del producto a aplicar en cada caso a partir de los modelos de respuesta (D, $\mu\text{l}/\text{cm}^2$).

2. Se estimó la Densidad Foliar (LAD, m^2/m^3), que es la superficie de hojas por unidad de volumen de vegetación. Para ello se tomaron muestras de hojas de diferentes partes de la copa de cada parcela y se calculó su superficie. A partir de estos datos se estimó que los valores medios de LAD eran de alrededor de 5 m^2/m^3 en las parcelas de mandarinas y de 4 m^2/m^3 en las de naranjas. También se tuvo en cuenta el nivel de poda de cada parcela.

3. Se consideró que la superficie foliar que ha de ser mojada es $2 \times \text{LAD}$ (en nuestro caso, como media sería 8 y 10 m^2/m^3), ya que de esta manera se cubrirían las dos caras de las hojas.

Tabla 1. Características de las parcelas de ensayo.

Parcela	Ubicación	Cultivo	Área (ha)	Marco de plantación (m)	Dimensiones de los árboles (m) (Altura x Diámetro 1 x Diámetro 2)	VT* (m^3 vegetación/árbol)
A	El Puig	Clementina cv. Clemenvilla	0,66	5,6 x 5	2,3 x 3,8 x 3,8	17,65
B	Alzira	Naranja cv. Navel	0,31	5,6 x 2,7	2,9 x 2,3 x 3,3	11,74
C	Chiva	Naranja cv. Navel	0,52	6 x 5	3,2 x 4,4 x 4,3	32,21
D	Bétera	Clementina cv. Clemenules	0,65	5,1 x 4,9	2,1 x 2,9 x 2,7	8,82

*Considerando la copa como un elipsoide

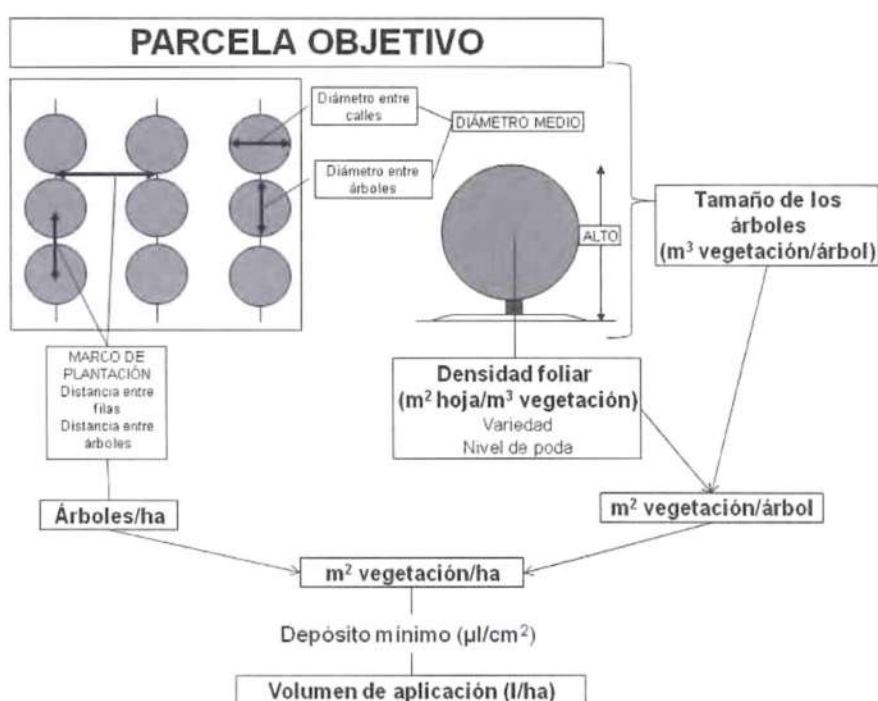


Figura 4. Esquema de cómo calcular el volumen de aplicación en los tratamientos basados en los modelos de respuesta.



Figura 1. Infestación de piojo rojo de California sobre diferentes órganos de cítricos.

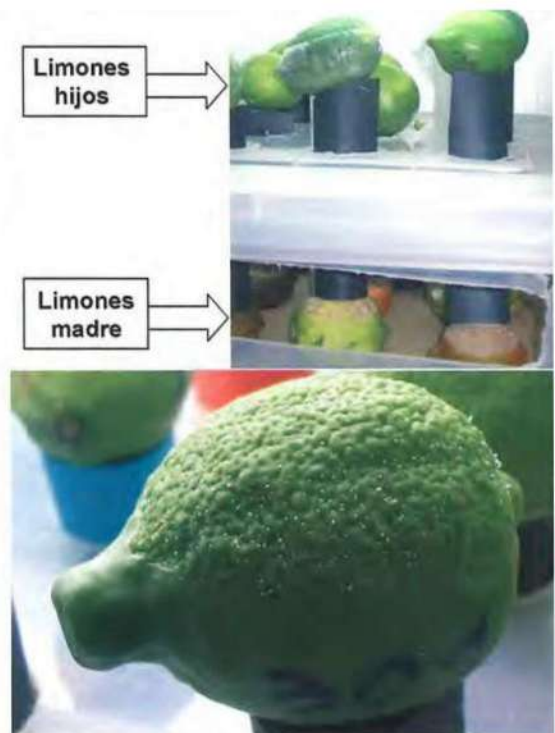
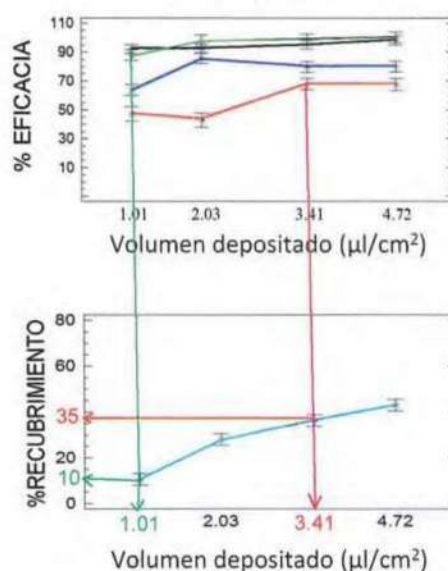


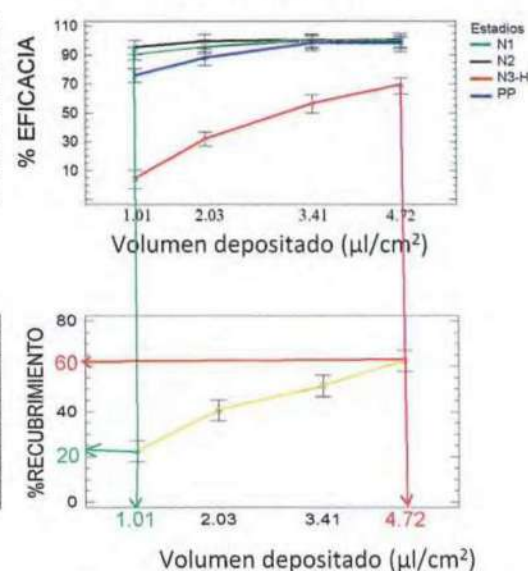
Figura 2. Aspecto de la cría de piojo rojo de California.

Insecticidas organofosforados

Producto CL

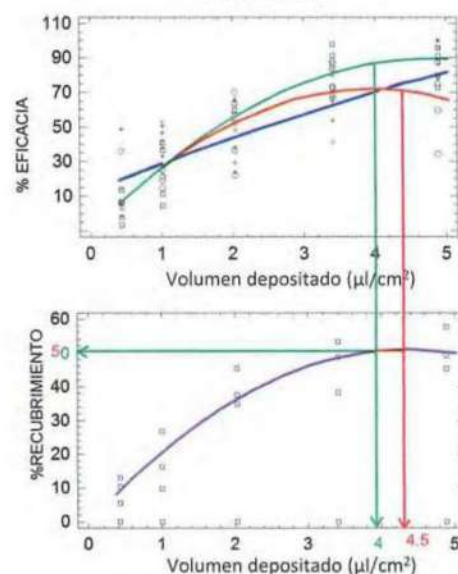


Producto MCL



Aceites minerales

Aceite A



Aceite B

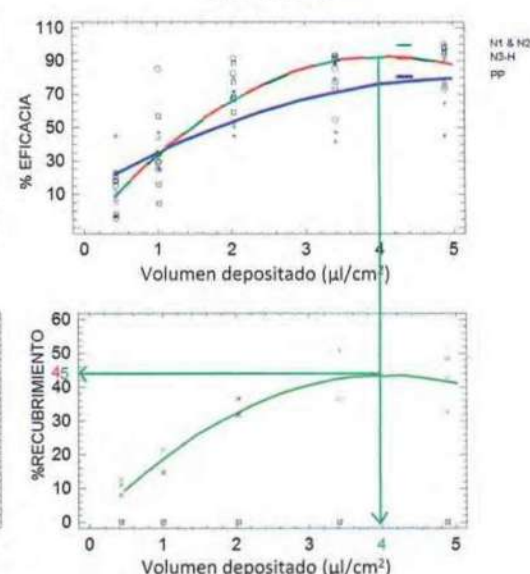


Figura 6.

Modelos de respuesta ante diferentes niveles de depósito de aceites minerales de los distintos estadios de desarrollo del piojo rojo de California (en verde N1 y N2; en rojo N3-H; y en azul PP).

Figura 5.

Modelos de respuesta ante diferentes niveles de depósito de insecticidas organofosforados de los distintos estadios de desarrollo del piojo rojo de California (en verde N1: individuos en 1ª fase y muda I; en negro N2: 2ª fase y muda II; en rojo N3-H: 3ª fase y hembras grávidas; y en azul PP: machos).

Figura 3. Torre de Potter, dispositivo para la pulverización en laboratorio.

4. Se calculó el volumen de caldo aproximado a aplicar a cada unidad de volumen de vegetación (VV, l/m³) mediante la **ecuación 1**, haciendo el cambio apropiado de unidades:

$$VV \text{ (l/m}^3\text{)} = 2 \times \text{LAD (m}^2\text{/m}^3\text{)} \times D \text{ (}\mu\text{l/cm}^2\text{)} / 100$$

5. Teniendo en cuenta la altura y el diámetro medios de los árboles, se estimó el volumen medio de vegetación (VT, m³/árbol), considerando que las copas tenían forma de elipsoides.

6. El volumen de caldo que era necesario aplicar a cada árbol (VA, l/árbol) se calculó mediante la **ecuación 2**:

$$VA \text{ (l/árbol)} = VV \text{ (l/m}^3\text{)} \times VT \text{ (m}^3\text{/árbol)}$$

7. A partir del marco de plantación, se calculó la densidad de árboles de cada parcela (DA, árboles/ha). Las parcelas del ensayo tenían entre 330 y 660 árboles/ha.

8. El volumen de caldo por hectárea cultivada resultante se calculó mediante la **ecuación 3**:

$$V \text{ (l/ha)} = VA \text{ (l/árbol)} \times DA \text{ (árboles/ha)}$$

De la ecuación 3 resultaron los volúmenes de aplicación en cada parcela (Tabla 2). Es importante señalar que los tratamientos propuestos aplicaron hasta un 40% menos de producto fitosanitario respecto a los convencionales.

Para evaluar el nivel de eficacia de los tratamientos se calculó el Índice de Infestación (%) sobre los frutos inmediatamente antes de la cosecha. Este parámetro se obtuvo contando en primer lugar el número de individuos de piojo rojo de California presentes en 20 frutos/árbol de una serie de árboles de cada tratamiento en cada parcela. Posteriormente, se evaluó la infestación de cada fruto según una escala creciente con siete niveles de intensidad de infestación: 0 (sin escudos sobre el fruto), 1 (de 1 a 10 escudos), 2 (de 11 a 20 escudos), 3 (de 21 a 30 escudos), 4 (de 31 a 40 escudos), 5 (de 41 a 50 escudos), 6 (de 51 a 100 escudos) y 7 (más de 100 escudos).

Finalmente, se calculó el Índice de Infestación de cada árbol teniendo en cuenta la intensidad de infestación de cada fruto y la frecuencia de cada nivel

(número de frutos en cada nivel de intensidad de infestación), mediante la aplicación de la fórmula de Townsend-Heuberger (Townsend y Heuberger, 1943) (**Ecuación 4**).

$$\text{Índice de infestación (\%)} = 100 \times \frac{\sum_{i=0}^7 n_i \times v_i}{N \times V}$$

donde

n_i es el número de frutos al nivel i de intensidad de infestación

v_i es el nivel i de intensidad de infestación

N es el número total de frutos evaluados en un árbol (20)

V es el nivel máximo de infestación (7)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los modelos de respuesta que relacionan la cantidad de producto con la eficacia de control, para cada estadio de desarrollo de la plaga y para cada producto ensayado, y a su vez lo relacionan con el recubrimiento conseguido, se muestran en las Figuras 5 y 6 (pag. 34). Como veremos más adelante, en estas figuras se señala con una flecha de color el depósito mínimo necesario para alcanzar la máxima eficacia sobre los estadios jóvenes (verde) y sobre las hembras adultas (rojo).

En los modelos se pudo observar una gran influencia del producto en la respuesta al tratamiento. Así, el producto MCL generó un mayor recubrimiento que el producto CL, quizás porque el primero era un concentrado emulsionable y el segundo era un granulado dispersable en agua. En el caso de los productos basados en aceites minerales, las diferencias en el patrón de deposición se podrían atribuir a los diferentes coadyuvantes incluidos en el producto, puesto que ambos eran concentrados emulsionables con similar contenido en aceite e igual residuo insulfonable.

Los resultados pusieron de manifiesto diferencias de respuesta de la plaga a los productos del mismo tipo y entre cada uno de los productos ensayados. Se observó que los dos insecticidas organofosforados produjeron una respuesta en la plaga que apenas variaba con la cantidad de caldo depositado, mientras que en el caso de los aceites minerales apareció una ten-

Tabla 2. Características operativas de los tratamientos

Parcela	Volumen de aplicación (l/ha)	Volumen aplicado	
		l/árbol	l/m ³ vegetación
A	3000	8,4	0,47
	5000	14	0,79
B	3000	4,5	0,38
	5000	7,6	0,65
C	3000	9	0,28
	5000	15	0,46
D	2000	5	0,57
	3000	7,5	0,85

dencia positiva en la relación dosis-respuesta que resultó estadísticamente significativa. También se pudo observar la diferente sensibilidad de cada estadio de la plaga: las fases jóvenes fueron las más sensibles a los insecticidas, lo que redundó en la importancia del momento de aplicación en la eficacia de los tratamientos.

A raíz de estos datos se determinaron los depósitos mínimos sobre el material vegetal que permitirían obtener la máxima eficacia sobre cada estadio de desarrollo del insecto, como se indica en las Figuras 5 y 6. Contra las fases jóvenes fue necesario un depósito mínimo de 1,01 μl caldo/cm² con insecticidas organofosforados y de 3,41-4,72 $\mu\text{l/cm}^2$ en el caso de los aceites minerales, mientras que para fases adultas estos depósitos aumentan hasta valores de alrededor de 4,72 $\mu\text{l/cm}^2$ en todos los productos (Garcerá *et al.*, 2011, 2012).

En los ensayos de campo se observó que los tratamientos basados en los datos de laboratorio produjeron menores recubrimientos (60-70%) que los tratamientos convencionales (alrededor del 90%). Sin embargo, no se encontraron diferencias de eficacia estadísticamente significativas. En la Figura 7 se muestra, en la primera fila de gráficas, el recubrimiento medio alcanzado por cada grupo de productos con cada tratamiento en cada parcela. En la segunda fila de gráficas se observa el índice de infestación observado tras cada tratamiento y producto ensayado en cada parcela y año.

Con estos ensayos también se demostró que la eficacia de los tratamientos depende fundamentalmente de la presión inicial de la plaga en la parcela y del volumen de caldo aplicado en relación al volumen de vegetación (Garcerá *et al.*, 2014).

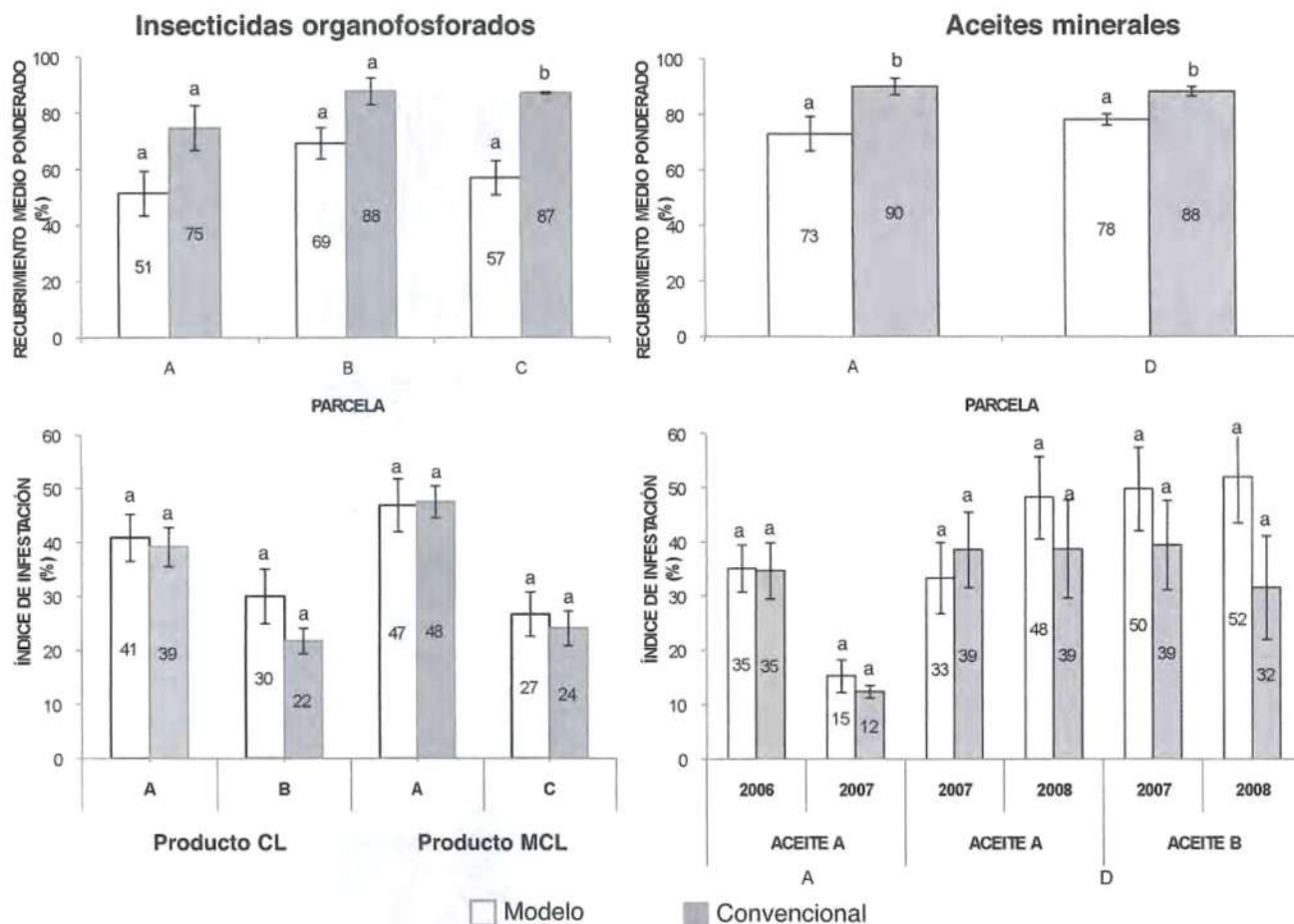


Figura 7. Resumen de los resultados de recubrimiento y eficacia de los tratamientos de campo. Las medias de cada combinación producto x parcela con una letra diferente son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que, una vez alcanzado un determinado umbral de recubrimiento, y por tanto, de depósito de producto fitosanitario (diferente para cada estadio de la plaga y de producto), la generación de mayor recubrimiento no conduce a una mayor eficacia de los tratamientos. De ello se deduce que la cantidad de insecticida organofosforado o de aceite mineral que se emplea actualmente puede ser reducida mediante la optimización del volumen de aplicación del tratamiento, ajustándolo a la cantidad de vegetación a la que se dirige el mismo.

Utilizando esta premisa se han realizado aplicaciones de producto ajustadas al tamaño de la vegetación en distintas las parcelas de naranjas y mandarinas. Gracias al método de cálculo de volumen desarrollado, en las condiciones de los experimentos se ha conseguido reducir hasta un 40% el uso de los productos fitosanitarios sin pérdidas de eficacia, con el consiguiente beneficio económico y la reducción de los riesgos para las personas y el medio ambiente.

En consecuencia, el estudio demuestra la importancia de incluir el volumen de la vegetación y el depósito mínimo requerido por unidad de superficie foliar para racionalizar las recomendaciones de los volúmenes de aplicación de los productos fitosanitarios en cítricos.

Por otra parte, dado que se han demostrado diferencias de comportamiento debidas no sólo a la materia activa, sino también a la formulación y modo de presentación de los productos, se señala la importancia de realizar estudios similares en otros cultivos, otras plagas y otros productos, siguiendo la metodología desarrollada en este trabajo, con el fin de conseguir un uso racional de los productos fitosanitarios en la actividad agraria.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada con fondos del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (proyectos AGL2007-66093-C04 y AGL2010-22304-C04-01) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

BIBLIOGRAFÍA

- DOUE (Diario Oficial de la Unión Europea). 2009. Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. Diario Oficial de la Unión Europea L309 of 24 Noviembre de 2009, 71-86.
- Garcerá, C., Moltó, E., Chueca, P. 2011. Effect of spray volume of two organophosphate pesticides on coverage and mortality of *Aonidiella aurantii* Maskell. Crop Protection 30: 693-697.
- Garcerá, C., Moltó, E., Zarzo, M., Chueca, P. 2012. Modelling the spray deposition and efficacy of two mineral oil-based products for the control of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell). Crop Protection 31: 78-84.
- Garcerá, C., Moltó, E., Chueca, P. 2014. Factors influencing the efficacy of two organophosphate insecticides in controlling California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell). A basis for reducing spray application volume in Mediterranean conditions. Pest Management Science 70: 28-38.
- IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias). 2010. Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades en Cítricos [en línea] Actualizado en Enero de 2014 [Consulta: 26 de Febrero de 2014] Disponible en la web: gipcitricos.ivia.es.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). 2014. Registro de Productos Fitosanitarios [en línea] Actualizado el 4 de Febrero de 2014 [Consulta: 26 de Febrero de 2014] Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/fitos.asp>
- Mercader G., Pellicer J., Fabado F., Moltó E., Juste F. 1995. Influencia de los colectores sobre los parámetros característicos de la pulverización en cítricos. VI Congreso de la SECH. Barcelona 1995, 322.
- Potter C. 1952. An improved laboratory apparatus for applying direct sprays and surface films, with data on the electrostatic charge on atomized spray fluids. Annals of Applied Biology 39: 1-29.
- Townsend, G.R., Heuberger, J.W. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. Plant Dis. Rep. 27: 340-343.